

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Rudolph, Elisabeth; Schulte-Rentrop, Annette; Schüßler, Annkathrin; Johannsen, Anika

Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems - Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100794>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Rudolph, Elisabeth; Schulte-Rentrop, Annette; Schüßler, Annkathrin; Johannsen, Anika (2011): Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems - Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland 2. Statuskonferenz Berlin 2011. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. S. 135-139.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems – Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels

Elisabeth Rudolph, Annette Schulte-Rentrop (beide BAW), Annkathrin Schüßler (RFWU) & Anika Johannsen (TUHH)

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels in diesem Jahrhundert und darüber hinaus lässt das BMVBS mögliche Folgen des Klimawandels für Schifffahrt und Wasserstraßen untersuchen. Zur Entwicklung geeigneter Anpassungsoptionen an den Klimawandel ist es nötig, sowohl die heutige Situation zu verstehen, als auch mögliche zukünftige Gegebenheiten zu analysieren. Die tatsächlichen Auswirkungen des Klimawandels auf z. B. den Meeresspiegel oder die Windverhältnisse in der Deutschen Bucht für das Jahr 2050 oder 2100 sind heute nicht bekannt. Jedoch gibt es aus den SRES-Szenarien (siehe Glossar) für eine Reihe von Parametern, die die Höhe einer Sturmflut bestimmen, Hinweise auf die Bandbreite ihrer Veränderung. Es ist deshalb möglich, die Bedeutung einer Veränderung dieser Parameter bei Sturmflut für die Bundeswasserstraßen zu untersuchen. Beispielfhaft werden die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten in Elbe, Jade-Weser und Ems vorgestellt. Das Ziel dieser Sensitivitätsstudie ist es, ein besseres Verständnis für die Variationsbreite der Sturmflut-scheitelwasserstände unter heutigen und möglichen zukünftigen Randbedingungen zu erhalten. Die Ergebnisse tragen dazu bei, Betroffenheiten entlang der Wasserstraßen in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems zu identifizieren, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Ästuar zu analysieren und in Zusammenarbeit mit der WSV geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

2 Sturmflutszenarien

Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems werden nicht nur durch die Gezeitendynamik und den Windstau in der Deutschen Bucht beeinflusst, auch Prozesse in den bis zu 100 km tief in die Norddeutsche Tiefebene hineinreichenden Flussmündungsgebieten prägen das Erscheinungsbild einer Sturmflut. So beeinflusst die Wasserstandsentswicklung in der Deutschen Bucht, die lokale Windwirkung über dem Ästuar, der Oberwasserzufluss in das Ästuar sowie die Topographie des Ästuars den Sturmflutscheitelwasserstand HW (höchster im Sturmflutzeitraum aufgetretener Wasserstand) entlang des Ästuars. Im Rahmen einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten werden Szenarien untersucht, die zentrale Elemente einer möglichen Zukunft hervorheben (Kosow & GRASSER 2008). Als zentrale Elemente einer möglichen Zukunft wird z. B. von BECKER (siehe Beitrag in diesem Tagungsband) eine Zunahme der Niederschläge im Winter und die daraus resultierenden höheren Abflüsse (HORSTEN, in diesem Tagungsband) in der Sturmflutsaison genannt. HEINRICH (siehe Beitrag in diesem Tagungsband) benennt den Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht als ein zentrales Element des Klimawandels. Beispielfhaft werden Ergebnisse zu folgenden Szenarien vorgestellt:

- Zunahme des Oberwasserzuflusses Q: Sturmflutszenarien werden mit dem aufgetretenen Abfluss sowie mit drei erhöhten Abflüssen (2.000 m³/s, 3.000 m³/s und 4.000 m³/s für Elbe und Weser sowie 350 m³/s, 700 m³/s und 1.200 m³/s für die Ems) kombiniert. Der höchste untersuchte Wert entspricht dem heutigen HHQ (höchste bekannter Wert) des jeweiligen Ästuars.
- Meeresspiegelanstieg in der Nordsee slr: Sturmflutszenarien werden mit einem Meeresspiegelanstieg von 25 cm, 80 cm und 115 cm kombiniert (zur Einordnung der Werte siehe GÖNNERT et al. 2009).

Die Sensitivitätsstudie wird auf der Grundlage von historischen sehr hohen Sturmfluten durchgeführt (Sturmflut 3. Januar 1976 (SF76) in Elbe und Jade-Weser, Sturm-

flut 1. November 2006 (SF06) in der Ems). Der Einsatz von hydrodynamisch numerischen (HN-)Modellen (UnTRIM, CASULLI und WALTERS 2000 bzw. BAW 2004) ermöglicht es, den Einfluss der genannten Prozesse auf den Wasserstandsverlauf bei Sturmflut jeweils einzeln zu untersuchen. Die Windfelder wurden vom DWD bereit gestellt.

3 Ergebnisse der Sensitivitätsstudie

Der Einfluss eines Meeresspiegelanstieges auf die Wasserstandsentwicklung bei Sturmflut ist beispielhaft für Brake in der Unterweser für das Sturmflutszenario SF76 in Abb. 1 dargestellt. Der erhöhte Meeresspiegel verändert am Tag vor der Sturmflut die Tidehochwasser Thw und Tideniedrigwasser Thw sowie deren Eintrittszeiten. Durch den Meeresspiegelanstieg erhöht sich der Sturmflutscheitelwasserstand HW und tritt früher ein. Die Dauer hoher Wasserstände verlängert sich.

Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes

Bezogen auf einen Ort z. B. in der Emsmündung ergibt sich, dass das HW in Emden im Referenzszenario SF76 nach 100 Minuten erreicht wird. Bei einem Meeresspiegelanstieg um 25 cm wird HW ca. 5 Minuten früher, bei

einem Meeresspiegelanstieg um 80 cm ca. 20 Minuten und bei einem Meeresspiegelanstieg um 115 cm ca. 25 Minuten früher erreicht. Bei einem Meeresspiegelanstieg ist bei Sturmflut eine Verkürzung der Vorwarnzeiten für die Deichverteidigung, das Räumen von überflutungsgefährdeten Hafengebieten oder auch die Bevölkerung zu erwarten.

Dauer hoher Wasserstände

Entwässerungssysteme und Siele ohne Pumpen sind auf Wasserstandsgefälle angewiesen. Aber auch Hafenanlagen können bei sehr hohen Wasserständen nicht verwendet werden. Schleusen und Sperrwerke werden bei Sturmflut geschlossen. Der Schiffsverkehr wird somit eingeschränkt. Betrachtet man 24 Stunden im Referenzszenario SF76 in Hamburg, so werden z. B. Wasserstände größer als NN + 3,00 m während 11,5 Stunden erreicht. Bei einem Meeresspiegelanstieg um 25 cm verlängert sich dieser Zeitraum um ca. 30 Minuten, bei einem Meeresspiegelanstieg um 80 cm um 5 Stunden und bei einem Meeresspiegelanstieg um 115 cm um ca. 6 Stunden.

Sturmflutscheitelwasserstand HW

Veränderungen im Meeresspiegel oder im Oberwasserabfluss verändern die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ästuale in unterschiedlicher Größenordnung. Eine Zunahme des Abflusses verändert HW im Mündungsbereich nicht. Im mittleren Bereich des Ästuares wird HW um mehrere Zentimeter und im oberen Bereich des Ästuares um mehrere Dezimeter angehoben. Ein erhöhter Meeresspiegel jedoch führt zu erhöhten Sturmflutscheitelwasserständen bis tief in die Ästuale hinein.

Eine Kombination von Meeresspiegelanstieg und Oberwasserzuflusszunahme (Abb. 2) zeigt, dass die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstandes im Mündungsbereich durch den Meeresspiegelanstieg verändert wird. Im mittleren Bereich der Ästuale beeinflussen sowohl der Meeresspiegelanstieg als auch der veränderte Abfluss den Sturmflutscheitelwasserstand. Im oberen Bereich des Ästuares bestimmt hauptsächlich der Oberwasserzufluss die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstands. Mit den Ergebnissen dieser Sensitivitätsstudie ist

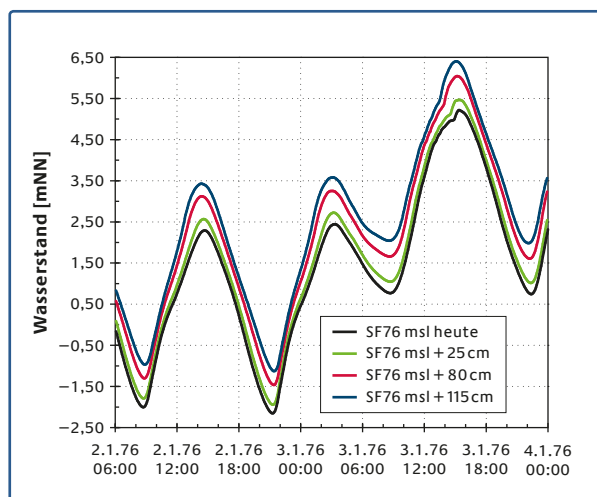


Abb. 1: Wasserstandsentwicklung bei Brake (Weser-km 40) für die Sturmflutszenarien mit Meeresspiegelanstieg

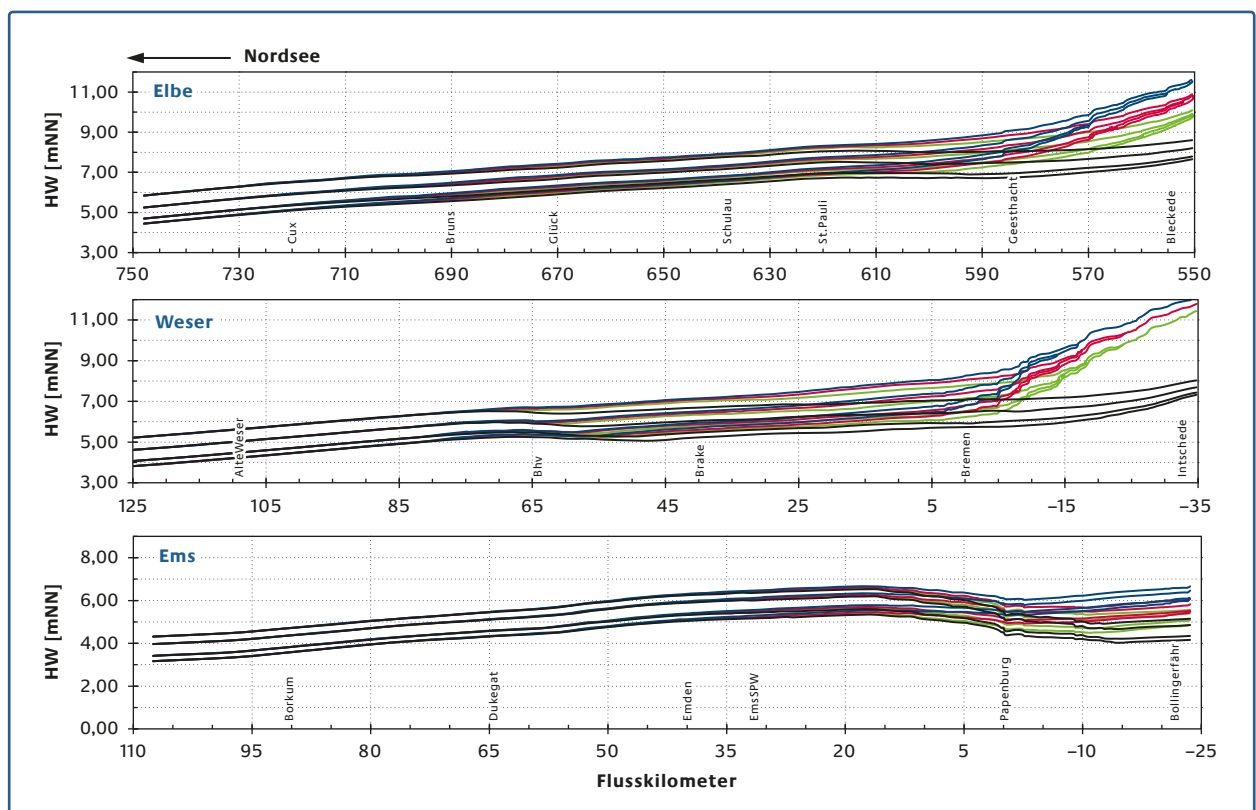


Abb. 2: Einfluss des Meeresspiegelanstiegs (heutiger Meeresspiegel msl, msl + 25 cm, msl + 80 cm, msl + 115 cm) und des Oberwasserzuflusses (gemessener Abfluss in Schwarz, 2.000 m³/s bzw. 350 m³/s (grün), 3.000 m³/s bzw. 700 m³/s (rot) und 4.000 m³/s bzw. 1.200 m³/s (blau)) auf die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ästuarie von Elbe, Weser und Ems

es möglich, Bereiche entlang der Ästuarie zu identifizieren, in denen die variierten Parameter den Sturmflutscheitelwasserstand deutlich verändern.

Anpassungsmaßnahme

Einen Schutz für die Flussmündungsgebiete vor Sturmfluten bieten Sturmflutsperrwerke. Das Emssperrwerk bei Gandersum schützt bereits heute die Ems vor Sturmfluten. Betrachtet werden die vier genannten Meeresspiegelszenarien in Kombination mit den vier Oberwasserszenarien. Abb. 3 zeigt im Gegensatz zu Abb. 2 die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ems bei geschlossenem Emssperrwerk. Zusätzlich ist die heutige

Solldeichhöhe (linkes und rechtes Ufer) eingetragen. Der Bereich stromauf von Gandersum ist durch das geschlossene Sperrwerk geschützt. Es treten relativ niedrige Scheitelwasserstände auf, die vom Oberwasserzufluss und der Schließdauer des Sperrwerkes abhängen. Auf der Seeseite des Sperrwerkes werden die Scheitelwasserstände nicht vom Abfluss sondern lediglich vom Meeresspiegelanstieg beeinflusst. Ein Vergleich der Solldeichhöhen mit den Sturmflutscheitelwasserständen aus dieser Sensitivitätsstudie zeigt, dass für fast alle betrachteten Szenarien das Sperrwerk eine geeignete Anpassungsmaßnahme darstellt. Es können jedoch auch Gebiete entlang der Ems identifiziert werden, für die

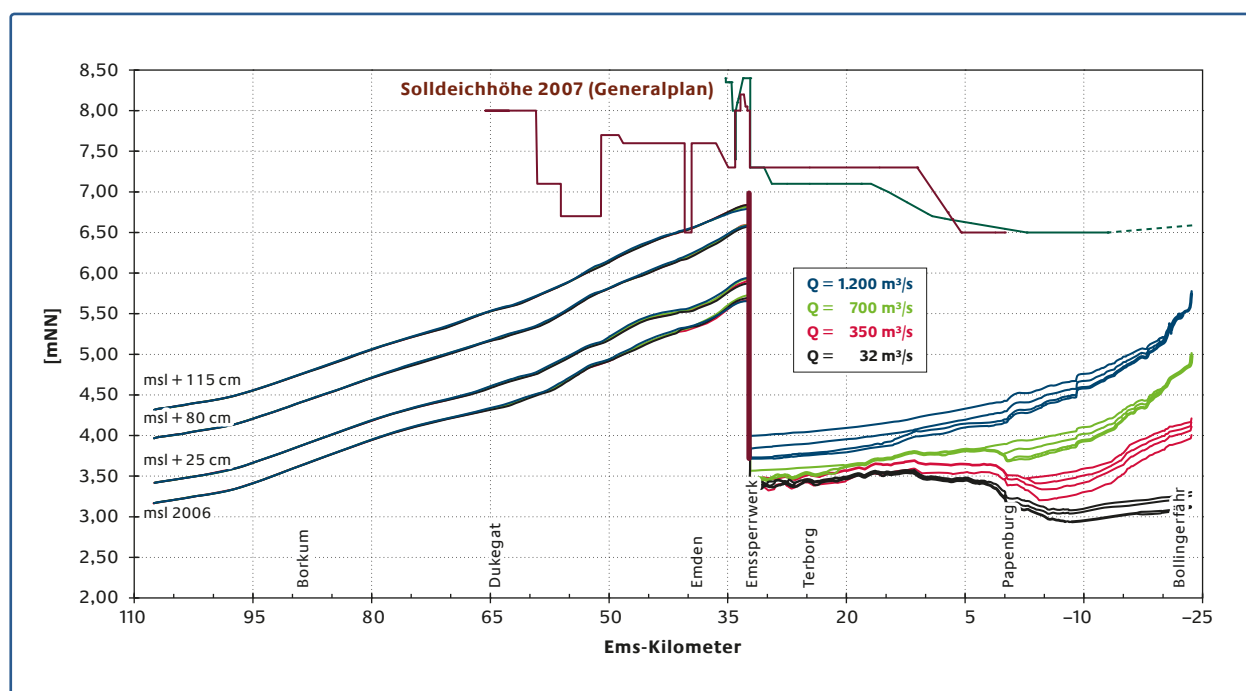


Abb. 3: Einfluss des Meeresspiegelanstiegs und des Oberwasserzuflusses auf die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ems bei geschlossenem Sturmflutsperrwerk

bei einigen Szenarien die Anpassungsmaßnahme Sperrwerk die Betroffenheiten bei Sturmflut nicht beseitigt, da z. B. die Deiche nicht hoch genug sind.

4 Zusammenfassung

In einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten in Elbe, Jade-Weser und Ems werden systematische Variationen der Parameter durchgeführt, die sich durch den Klimawandel verändern können. Die Änderungen der Sturmflutscheitelwasserstände sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Sturmflutscheitelwasserstand im Mündungsbereich wird durch das Geschehen in der Nordsee, d. h. die Sturmflut und den Meeresspiegelanstieg bestimmt. Im Ästuar wird der Sturmflutscheitelwasserstand sowohl durch das Geschehen in der Nordsee als auch durch das Geschehen im Binnenbereich (Abfluss) geprägt.

Die betrachteten Szenarien führen zu einer Zunahme der Sturmflutscheitelwasserstände, einer früheren Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes sowie einer längeren Dauer hoher Wasserstände. Es ist davon

Tabelle 1: Änderung des Sturmflutscheitelwasserstandes für die betrachteten Szenarien entlang der Ästuar von Elbe, Weser und Ems

Szenarien	Ästuar-mündung	„mittleres“ Ästuar	„oberes“ Ästuar
Oberwasser-zufluss Q	±1 cm	5–30 cm	10–100 cm
Meeresspiegel-anstieg slr	+ slr	+(slr ± 10 cm)	+(slr ± 10 cm)
Kombination Q & slr	+ slr	≤ (slr + Q)	≤ (slr + Q)

auszugehen, dass die bekannten Probleme bei Sturmfluten durch den Klimawandel verstärkt werden.

Am Beispiel des Emssperrwerkes wird gezeigt, wie die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie eingesetzt werden können, um mit der WSV zusammen Betroffenheiten entlang der Bundeswasserstraßen zu identifizieren und geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

Literatur

- BECKER, P. (2012): Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung – wo stehen wir? In diesem Band.
- BAW (2004): Validation document – Mathematical Model UnTRIM. Bundesanstalt für Wasserbau Dienststelle Hamburg. Wedeler Landstrasse 157, 22559 Hamburg. 2004. http://www.baw.de/downloads/wasserbau/mathematische_verfahren/pdf/Simulationsverfahren_Kueste_validation_document-untrim-2004.pdf.
- CASULLI, V. & R. A. WALTERS (2000): An unstructured, three – dimensional model based on the shallow water equations. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 32, 331–348. 2000.
- GÖNNERT, G., JENSEN, J., VON STORCH, H., THUMM, S., WAHL, T. & R. WEISSE (2009): Der Meeresspiegelanstieg Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung. Die Küste 76. 225–256. 2009.
- HEINRICH, H., KLEIN, B., GANSKE, A., HÜTTL-KABUS, S., MÖLLER, J., SCHADE, N., KLEIN, H., ROSENHAGEN, G., TINZ, B., MIKOLAJEWICZ, U. & D. SEIN (2012): Aktueller Stand der Meeresspiegel-Projektionen für das nordwest-europäische Schelf. In diesem Band.
- HORSTEN, T., KRAHE, P., NILSON, E., EBNER VON ESCHENBACH, D. E., BELZ, J.-U. & M. LARINA (2012): Änderungen von Wasserhaushaltskomponenten im Elbegebiet – Herausforderungen und Lösungsansätze. In diesem Band.

Folgen Klima bedingter Änderungen des Oberwasserabflusses auf die Algenentwicklung und den Sauerstoffgehalt in der Tideelbe

**Birte Hein, Jens Wyrwa
& Andreas Schöl (alle BfG)**

1 Einleitung

In der Tideelbe sind schon heute ausgeprägte Sauerstoffminima im Bereich des Hamburger Hafens zu beobachten. Diese vorwiegend im Sommer auftretenden Sauerstoffdefizite sind von hoher ökologischer Bedeutung, da sie zu einer starken Beeinträchtigung der benthischen Lebensgemeinschaft oder sogar zu einem Fischsterben führen können (BERGEMANN et al. 1996).

Der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe wird maßgeblich von den Stoffeinträgen aus der Mittelbe bestimmt. Ein steuernder Faktor ist hierbei der Oberwasserabfluss (KERNER 2007). Die aus der Mittelbe eingetragene Algenbiomasse stirbt hauptsächlich aufgrund einer Verschlechterung der Lichtverhältnisse im Bereich des Hamburger Hafens ab (SCHROEDER 1997, YASSERI 1999). Der mikrobielle Abbau dieser Algenbiomasse findet unter Sauerstoffzehrung statt und führt zur Ausprägung des im Sommer zu beobachtenden Sauerstofffalls (BERGEMANN et al. 1996, KERNER 2007, YASSERI 1999).

Diese Studie soll erste Abschätzungen liefern, wie sich klimatisch veränderte Oberwasserabflüsse auf die Stoffeinträge aus der Mittelbe und somit auf die Gewässergüte in der Tideelbe auswirken.

2 Teststudie: Projektion der Sauerstoffgehalte in der Tideelbe

2.1 Das Gewässergütemodell QSim

Die Simulation des Sauerstoffhaushaltes wird mit dem deterministischen 1D-Gewässergütemodell QSim (KIRCHESCH & SCHÖL 1999, SCHÖL et al. 2006a,